La fusion nucléaire : l'origine de notre univers et notre avenir énergétique

1. La fusion
A/Définition
La fusion nucléaire à l'origine de l'énergie solaire est proposée comme hypothèse par Jean Perrin en 1921, mais aussi par deux anglais en 1920. Depuis ses mécanismes ont été décrits en détail et quantifiés. Elle est la plus grande aventure scientifique et technologique en cours, puisqu'elle pourrait devenir la principale source d'énergie sur Terre.
La fusion nucléaire consiste en l'association de 2 noyaux légers pour former un nouveau noyau plus lourd. Nous verrons que cette réaction de fusion est actuellement notre principale source d'énergie puisqu'elle est au cœur du fonctionnement des étoiles et de notre soleil.

B/Formation et vie d'une étoile.
La fusion nucléaire est en quelque sorte au cœur de la vie de l'étoile de sa naissance à sa mort.
À la naissance de l'univers il y a 13 milliards d'années, il est essentiellement composé d'hydrogène et d'hélium, et sa température est de plusieurs millions de degrés. À ce stade, les protons et les électrons ne sont pas liés. Le Big-Bang engendre l'expansion de l'univers, ce qui permet un refroidissement et en quelques centaines de milliers d'années la température atteint 5000 degrés, les électrons et les protons se lient pour former la structure de l'hydrogène et de l'hélium.

D'immenses nuages de gaz très denses forment des galaxies.

Au sein des galaxies des étoiles se forment à partir de masses de gaz qui s'effondrent sous l'effet de leur propre gravité. Initialement, cette étoile est donc une masse d'hydrogène essentiellement et d'hélium. L'immense pression au sein de l'étoile chauffe l'hydrogène.
Ces conditions de pression et de température vont permettre aux noyaux d'hydrogène de commencer à fusionner, et de former des atomes d'hélium. L'énergie libérée par cette fusion va entretenir les conditions de température et de pression. Notamment deux forces contraires luttent : la gravité qui contracte l'étoile et l'énergie libérée par la fusion qui dilate l'étoile.
Les conditions initiales de pression et température par la gravité permettent l'initiation de la fusion. L'énergie libérée par cette fusion va entretenir ces conditions de pression et température pour fusionner la totalité de l'hydrogène.
Pendant 95% de sa vie l'étoile va ainsi transformer l'hydrogène en hélium, c'est ce qu'on appelle sa séquence principale.

Une étoile comme le soleil fusionne environ 600 millions de tonnes d'hydrogène par seconde et ce qui produit 596 millions de tonnes d'hélium
Cette différence de masse est convertie en énergie par rayonnement, produisant un rayonnement à l'origine de la chaleur et de la lumière.

À la fin de la vie de l'étoile il n'y a presque plus d'hydrogène les atomes qui fusionnent sont de plus en plus lourds : 3 He ->C, C+He-> O,C+C-> MG ou Na, , O+O->Si, MG, P...
Mais ces réactions de fusion consomment alors plus d'énergie. Lorsque l'équilibre entre énergie nécessaire à la fusion et énergie produite par la fusion s'inverse, l'étoile arrête de fusionner et implose. Selon les caractéristiques de l'étoile (sa masse surtout), elle sera capable de produire des atomes plus ou moins lourds à la fin de sa vie. Notre soleil s'arrêtera au carbone. À la mort des étoiles, ces atomes plus lourds vont enrichir l'espace interstellaire et permettre l'existence des planètes.
Notre soleil fusionne l'hydrogène depuis 5 milliards d'années et devrait continuer encore 5 milliards

d'années.

B/ Conditions et mécanismes intimes de la fusion et libération d'énergie.
-conditions de température et pression
Des conditions de température et de pression sont d'abord nécessaires pour que la fusion soit possible. En effet une température de 10 millions de degrés est nécessaire, dans le soleil elle est de 100 millions. Au début de la vie de l'étoile, le gaz est chauffé par la pression : Sous l'effet de sa masse et de la gravité, le gaz s'effondre créant une pression très élevée, qui va chauffer le gaz. Arrivé à une température suffisante, l'hydrogène va commencer à fusionner. La pression et la température seront maintenues par la gravité et l'énergie libérée par la fusion qui ainsi s'auto-entretient.

-mécanisme, plasma et 4ème état de la matière:
dans ces conditions, le gaz entre alors dans le 4ème état de la matière ou plasma. La structure noyau-électron se dissocie, l'électron devient libre et le noyau positif, le gaz est « ionisé ».
Il acquière alors des propriétés très différentes et notamment la conductivité électrique et la sensibilité aux champs magnétiques.
l'Hydrogène : à l'état gazeux normal, il est composé d'un seul proton et un électron, c'est le protium. Il possède deux isotopes : le deutérium, avec un proton, un neutron et un électron ; et le tritium avec un proton, deux neutrons et un électron.
L'hélium : il est composé de deux protons, deux neutrons et deux électrons.

Dans le plasma solaire les protons de l'hydrogène sont libres et une collision entre deux protons va produire les réactions suivantes :
p+p => pn (deutérium) + positron (e+) + neutrino
puis
pn + p =>ppn (hélium 3) + rayonnement gamma
puis
ppn + ppn => ppnn (hélium) + p+p

-quantification de l'énergie
prenons la réaction : 4H->He +E
si on prend une masse d'hydrogène d'1kg, on produit 993,15g d'hélium
il manque 6,85 g.
cette masse est transformée en énergie selon la formule
E=mC2 = 6,85.10-3 x 3,108carré= 6,2,1014 joules
c'est aussi l'énergie libérée par la combustion de 20 000 tonnes de charbon

À l'échelle du soleil chaque seconde constitue ainsi une perte de masse de 4 millions de tonnes, et une production de 1,2.1044 J. Sur 10 milliards d'années il n'aura cependant perdu qu'un millième de sa masse.

2 Projet ITER
A/ Historique et contexte
LA fusion nucléaire est décrite depuis
Elle a déjà été utilisée pour

Le projet ITER est né d'une entente entre Mikhail Gorbatchev et Ronald Reagan, avec l'idée de collaborer pour développer la recherche sur l'énergie de la fusion nucléaire. Deux ans plus tard, un accord est passé entre Etats-unis, Union Européenne, Japon, et Union soviétique, pour lancer le

projet ITER. De nombreuses études techniques ont permis de monter ce projet, qui voit l'accord définitif en 2017 signé par les partenaires auxquels se sont rajoutés la chine, l'inde, la Corée. Des milliers de personnes dans le monde travaillent sur le projet ITER dans différents pays mais la construction ITER s'est installée en France à Saint Paul lez durance près d'Aix en Provence.

B/ Conception du TOKAMAK et différentes contraintes

Le projet ITER a pour objectif de créer une machine capable de produire un plasma,
Production de plasma

Champs électromagnétiques et confinement.

C/ performances obtenues

D/ avantages de cette nouvelle énergie

- sureté
- absence de déchets
- substrat très disponibles